

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-221023

(43) 公開日 平成7年(1995)8月18日

(51) IntCl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/205

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-5280

(22) 出願日 平成7年(1995)1月17日

(31) 優先権主張番号 1 8 3 - 4 5 7

(32) 優先日 1994年1月18日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 580000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
ト ハノーバー・ストリート 3000(72) 発明者 フレッド・エイ・キッシュ・ジュニア  
アメリカ合衆国カリフォルニア州サンヨゼ  
レイクショア・サークル 1372(72) 発明者 デイヴィッド・エイ・ヴァンダーウォータ  
ーアメリカ合衆国カリフォルニア州サンタ  
ララ アンナ・ドライブ 2245

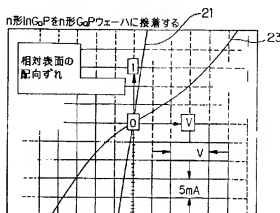
(74) 代理人 弁理士 萩野 平 (外5名)

(54) 【発明の名称】 化合物半導体ウェーハの接合方法

(57) 【要約】

【目的】 2つの半導体表面の接合界面上の転移と点欠陥を最小にでき、かつ低い電気抵抗を有するオーミック伝導を生じる化合物半導体ウェーハの接合方法を提供することを目的とする。

【構成】  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 、P層はTeをn形ドーパントとして利用してGaP: S基板上に格子をずらせた状態で有機金属CVDによって成長させ、化合物半導体としてグラフト製アンビル固定具内で単軸圧力を加えて加熱し、半導体表面の表面配向と回転方向位置とを一致させ、n形 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 、Pをn形GaP: S基板に接合し、2つの半導体の接合面の電流-電圧特性の曲線21が直線性を呈し、低オーミック伝導を達成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つの半導体表面を接合して、接合界面最小電圧降下を伴う低い電気抵抗を呈し、接合される表面のうち少なくとも一方が化合物半導体を含み、2つの表面が類似したドーピング・タイプを有する、接合界面を形成する方法であって、  
2つの半導体表面を加熱するステップと、  
2つの半導体表面の表面配向を一致させるステップと、  
2つの半導体表面の回転方向位置を一致させるステップと、  
加熱し、配向し、位置合わせした表面に単軸圧力を加えるステップを含む化合物半導体ウェーハの接合方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、広く言えば半導体デバイス製造の分野に関するものである。より具体的に言えば、化合物半導体ウェーハを使った化合物半導体デバイスの接合方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 単位半導体ウェーハどうしを接合することは、半導体基板またはエピタキシャル膜を別の半導体基板またはエピタキシャル膜に取り付けることを含めて既知である。本明細書では、「ウェーハの接合」という用語は、ウェーハをエピタキシャル膜に接合すること、およびエピタキシャル膜をエピタキシャル膜に接合することを含むものとする。最近、化合物半導体ウェーハを接合すること、つまり接合される2つのウェーハのうち少なくとも一方が化合物半導体を含んでも接合が可能であることが実証されている。こうした接合により、単一のチップ上に複数のデバイスを集積することが可能になり、あるいは表面発光レーザーや発光ダイオード(LED)に関してデバイス設計の改善が可能になる。

【0003】 化合物半導体ウェーハを接合するのに2つの方法が使用されてきた。第1の方法では、ウェーハの間に溶液を挟む。この液体を放熱して蒸発させると、ウェーハは比較的弱いファンデルワールス力(静電力)によって互いに保持される。その後の処理は、接合強度を増すためのアニール工程を含むこともあり、一般に200°C未満の低温で実行される。この低温制限は、異質の半導体表面においては熱膨張率が異なることから必要とされる。この膨張率の差は、ウェーハを結び付けている弱い静電力と相まって、ウェーハが高温で分離する原因となる。ウェーハどうしを保持している静電力が弱いことはまた、それ以降の機械的作業、つまりダイシング、研削、研磨などにおいてウェーハの接合が剥離し、その結果として、動作デバイスの製造において困難を引き起こしてきていることを意味する。たとえこの接合がデバイスの製造に耐えて存続したとしても、ウェーハ間の電気的接触は非常に不十分なので、非オーミックな電気的結合を生じてしまう。電流が接合した一方のウェーハから他

方のウェーハに流れるようなデバイスを実用可能な状態で実現するには、オーミック伝導が必要である。金属中間層を使用すればオーミックコンタクトを作成することができる、しかしこれでは2つのウェーハ間の界面が光を吸収するようになってしまう、特に1.1eVにおいては望ましくなく、これによって、追加の高温処理の可能性が制限される。

【0004】 化合物半導体ウェーハのための第2の接合技法は、ウェーハを互いに接触させて、次に外部から単軸圧力を加えながら高温(400~1,200°C)でウェーハをアニールすることである。この外力は、2つのウェーハの熱膨張率の差を補償するために必要であり、また膨張率の差は特に高温において大きくなり、またこの外力はウェーハが高温においても緊密な接触を保つのを確実にする。このプロセスでは、ウェーハ間に強い化学結合が生じることになり、この結合はこれまでに説明したプロセスで生じる結合よりずっと頑丈である。こうして接合したウェーハはダイシングソーや、研磨、研削にかけることができ、またその後の高温処理を施すことができる。ウェーハは普通、表面が平坦ではないが、ウェーハは高温(>600°C)で延性が大きくなるので、加えた単軸圧力がウェーハの変形に役立つことがある。これはウェーハ間の非接合面積を最小にする。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 この方法の一つの大きな短所は、接合したエポキシ界面を貫いてオーミック電流伝導を生じさせることができないことであつた。InP/GaAsのp-p-pヘテロ接合も、n-n-pヘテロ接合も、ある程度の整流作用を呈する。GaAs基板またはSi基板にウェーハ接合したレーザダイオードのp-n構造は、この非オーミック電流伝導の結果として、異常に高い順電圧を呈する。この高い順電圧は多くのデバイス用途にとって受け入れがたい。

【0006】 従って、ウェーハどうしを強力に結合し、かつ第1ウェーハから第2ウェーハへのオーミック伝導を生じよう化合物半導体ウェーハを接合する方法は、大いに望ましいが、またどの既知の文献にも示されていない。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明は、第1の好ましい実施例において、化合物半導体を接合した界面について、その界面上に存在する転位と点欠陥の数を最小にすることで、その界面を貫いて低抵抗のオーミック伝導を生じさせるための方法を含んでいる。これはウェーハ表面の結晶学的配向と、ウェーハ表面内での回転方向位置を同時に一致させて、接合界面にまたがる原子配列を、単結晶半導体内で生じる原子配列とできるだけ類似させることによって達成される。こうした技法を用いると、接合界面における電気的に活性な欠陥の数が最小になり、したがって界面を貫く低抵抗のオーミック伝導も可

能になる。このオーミック伝導は、たとえ接着したい2つのウェーハにおける2つの結晶表面の格子定数が大きく異なっている場合でも、実現可能である。

【0008】本発明の教示は、化合物半導体結晶の性質やデバイスの性質が保持されるような低値において、オーミックなウェーハ接着界面の形成を促進するのに必要である。この教示は、両方の表面が例えばSiなど、単位半導体でできているとき、このような界面を生み出すために必要ではない。このことは、Si表面が高い反応性を持っていること、並びに単位半導体結晶では極性が小さいことの結果であると言えよう。元素バルク半導体もまた、化合物半導体より温度に関して安定しており、また結晶やデバイスの性質に悪影響を及ぼすことなく、化合物半導体より高温(>1000°C)で接着できる。このより高い温度は、単位半導体間にオーミック界面を形成するのに必要な接着条件を緩和するように思われる。

#### 【0009】

【実施例】この開示内では、接着される半導体ウェーハの結晶学的表面配向および回転方向位置を一致させるための相対的方向を記述するのに、いくつかの慣用記号を用いている。図1はこれらの用語が本明細書中でどのように用いられ、どのように記述されているかを図示している。ベクトルAはウェーハAの表面に対して垂直である。ベクトルBはベクトルAと同じ結晶学的方向を持っているが、しかしウェーハB内での同じ方向である。すべての結晶は原子の規則的配列からできている。その規則的原子配列は、本明細書では、さまざまな平坦面から構成されているものとして規範化してもよい。本明細書では、結晶学的方向が同じであるというこ

【0010】ベクトルと平面はミラー-指数を使って記述され、それと共に慣用的表記法を用いて、ここで使用する結晶内でのベクトルおよび平面を記述する。かくし

て、(h k l)は結晶平面を示し、[h k l]は等価な結晶表面を示し、[h k l]は結晶方向を示し、(h k l)は等価な結晶方向を示す。

【0011】本発明の教示を用いて、下記の化合物半導体のウェーハを接着している間に、低抵抗のオーミック伝導を達成した。つまり、n形GaPをn形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pに(ただしx=0、0.3または0.5)、n形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pをn形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pに、n形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pをn形GaAsに、p形GaPをp形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pに(Y=0、0.5)、p形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pをp形In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pに、そしてp形GaPをp形GaAsに接着した。InGaP層(約0.2から2μm)は、TeおよびZnをそれぞれn形およびp形のドーパントとして利用し、有機金属CVD(MOCVD)によって成長させた。In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層は、GaAs:Te (n>3×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)基板またはGaAs:Zn (p>1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)基板上に格子を一致させた状態で成長させ、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層はGaP:S基板(n>3×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)上に格子をずらせた状態で成長させた。ここで議論する上記以外のすべての材料は、化合物バルク半導体GaAs:Si、GaAs:Zn、GaP:SまたはGaP:Zn基板を含み、そのドーピング濃度は>3×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>であった。化合物半導体ウェーハの接着は、公知のグラフト製アンプル固定器具で単軸圧力を加え、温度を上昇させて実行した。この開示において、指定されたすべての角度公差および位置合わせの精度は±0.5度である。

【0012】表面配向と回転方向位置を適切に一致させるという本発明の教示は、列挙したすべての材料間の接着界面で電気的性質の大幅な改善をもたらした。これらの効果は、化合物半導体内の固有の結晶構造および原子結合の性質に起因している。ここで教示された位置合わせ方法および配向方法は、それ故、単軸圧力のもとで高温で実行されるすべてのウェーハ接着に適用可能であり、つまり高温と圧力は結晶の化学結合を再生成するのに役立つからであるが、少なくともとも一方の表面は化合物半導体を含んでいるものとする。

【0013】ほとんどの化合物半導体における原子は、閃亜鉛型結晶構造をなして配置されているので、以下の議論では、特に例外と断らないかぎり、この結晶構造を仮定する。

【0014】本発明の第1の実施例を用いて、n形(n>1×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pをn形GaP(n>3×10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup>)に接着した。この実施例、およびこれ以降の実施例において、n-GaPをn-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pに接着するすべての化合物半導体ウェーハ接着は1000°Cにおける同一条件のもとで実行した。温度は40分かけてこの点まで上昇させ、その後直ちに、30分かけて室温まで戻した。接着作業が完了し

た後、全面合金オーミックコンタクト用金属被膜を、接着したウェーハの両方の外側表面に被せ、次にこれを20×20ミルのチップにダイシングした。GaP/In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P同構造型ヘテロ接合に関するすべての電流-電圧特性は、正電極を接合のGaP側に接続することによって測定した。

【0015】正確なウェーハ配向による効果は、図2に示した電流-電圧曲線によって例証されている。(100)から(101)の方に+2度傾いた表面配向を有するn<sup>+</sup>In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層を、第1の事例では(100)から(101)の方に+2度傾いた表面配向を有するn<sup>+</sup>GaP基板に、あるいは第2の事例では(100)から(101)の方に+8度傾いた表面配向を有するn<sup>+</sup>GaP基板に接着した。その結果生じた接合の電流-電圧曲線を、それぞれ図2の曲線2.1および曲線2.3として示す。両方の事例において、ウェーハは回転方向に位置合わせされている。こうした位置合わせの例を図3に示すが、この図では、[0 -1 -1]方向どうしがウェーハのヘリのオリエンテーション・フラットまたは劈開面を利用して揃えられているが、[1 0 0]方向どうしは揃っておらず、そのずれの大きさは角度φで測定することが図解されている。図2に曲線2.1として示した電流-電圧曲線を持つ接合に対して、この角の大きさはφ=0度である。曲線2.3に対して、この角の大きさはφ=6度である。結晶学的配向は、n-n<sup>+</sup>ヘテロ接合の電流-電圧特性に対して顕明な効果を及ぼす。ウェーハ配向が一致しているとき(φ=0度)、結果として得られる電流-電圧特性は、曲線2.1に示すとおりオーミック(直線)であり、この場合の抵抗はR<sub>s</sub>≈約1.5Ωという低い値である。単結晶n-GaPウェーハの両側に金属被膜を被せたものについて、同程度の抵抗レベルが観察されている。このことは、本発明の教示に従って接着したウェーハ内に残存している抵抗の大部分は、コンタクトやババルク材料から生じたものであり、接着したヘテロ接合から生じたものではないことを示している。曲線2.3は、結晶学的配向をかなりずらして(φ=6度)接着したウェーハの電流-電圧特性を表している。このような電流-電圧特性はオーミックではなく、8A/cm<sup>2</sup>つまり20mAにおいて0.25Vを上回る比較的大きな電圧降下を呈する。この電圧降下は、電流密度が高くなるほど大幅に増加し、しかもそうした高電流密度はデバイスの利用において普通に採用されている。

【0016】低抵抗オーミック伝導を達成するのに、ウェーハの結晶学的配向を完全に一致させる必要はない。表面配向が(100)から(101)の方に+2度傾いているn-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層を、表面配向が(100)のn-GaP基板と、表面配向が(100)から(101)の方に+4度傾いたn-GaP基板とに接着した。両方の場合とも|φ|=2度である。これらの接

合ウェーハは両方とも、図2において曲線2.1で示されるオーミック伝導と似た低抵抗オーミック伝導を呈した。ウェーハ表面はまた、もし結晶学的配向ずれの絶対値が小さければ(|φ|<6度)、同じ方向にずれていなくてもよい。表面配向が(100)から(101)の方に+2度傾いているn-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層を、表面配向が(100)から(101)の方に+2度傾いているn-GaP基板に接着したとき(|φ|=2.83度)、低抵抗オーミック伝導を達成できる。以上すべての場合について、ウェーハは回転方向に位置合わせされている(θ=0度)。以上の結果は、ユニポーラ化合物半導体をウェーハに接着したとき、ウェーハの相対的結晶学的配向ずれが6度未満(|φ|<6度)の場合にかぎらず、接着界面を貫くオーミック伝導が達成できることを示している。

【0017】ウェーハの回転方向位置を正しく揃えることもまた、接着界面において低抵抗オーミック伝導を達成するのに不可欠である。ウェーハの回転方向位置ずれの角度をさまざまに変えたときの効果を図4に示す。つまりこれらは、ウェーハどうしの回転方向位置を変化させてn-In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P層をn-GaP基板にウェーハに接着したときの電流-電圧特性を表すグラフである。接着された層は両方とも、(100)から(101)の方に+2度傾いた表面配向を持っている。図5に、位置ずれのようにより測定するかを図解し、またこの図に、[0 -1 -1]方向どうしのずれが示されているが、これらの方向はウェーハのヘリのオリエンテーション・フラットや劈開面により、絶対角度θで表される。図4において曲線4.1は、ウェーハどうしがθ=0度で位置合わせされているとき、n-InGaP/n-GaPヘテロ接合を貫いて低抵抗(R<sub>s</sub>≈約1.5Ω)のオーミック伝導が生じることを示している。ずれの角度がθ=5度(曲線4.3)まで増加するにつれて、電流伝導はわずかに非直線つまり非オーミックとなり、またヘテロ接合を間に付随する電圧降下が増加する。こうした影響は、ずれの角度がθ=15度(曲線4.5)まで、さらにθ=20度(曲線4.7)まで増加するにつれて、ますます顕著になる。θ=20度のとき、接着界面を貫通する非オーミック伝導は、8A/cm<sup>2</sup>(20mA)において0.25Vを上回る電圧降下となる。このような電気特性は、電流が接着界面を通過するほとんどのデバイス用途にとって受け入れることができない。いくつかの用途においては、電圧降下が過度に大きくなりすぎた場合において、電流-電圧特性における中程度の非直線性なら受け入れられることもある。これらの場合において、-20度<θ<20度という中程度の位置ずれなら受け入れられる。

【0018】結晶学的表面配向だけ、あるいはウェーハの回転方向位置だけを一致させても十分ではない。表面配向も、回転方向位置も両方同時に一致させなければな

らない。図4に性能を図示した接着ウェーハにとって、位置ずれは〔100〕方向の回りの回転と同値である。接着ウェーハのウェーハ表面配向は厳密に言えば〔100〕平面上にはない（〔100〕から〔101〕の方へ+2度傾いている）。こうして、ウェーハの回転方向位置ずれもまた、ある程度の結晶学的表面配向ずれにつながる。図4において、位置ずれが $\theta=20^\circ$ である曲線4.7は、 $|\Phi|=0$ 、69度の配向ずれに対応している。この配向ずれは、先に示した $|\Phi|<6^\circ$ という限界よりずっと小さく、図4に示した結果にさほど影響を

【0019】ウェーハ位置ずれを $\theta=90^\circ$ まで増加させると、やはりユニポーラ化合物半導体の接着界面を貫く伝導は非オーミックとなる。この位置合わせを図6の概略図で示し、また結果として生じる電圧-電流特性を図7に示す。図7に示すとおり、 $n\text{-InAs}$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{P}$ と $n\text{-GaP}$ の接着ヘテロ接合は、ウェーハどうしが $\theta=90^\circ$ ずれており、曲線7.3として示した電圧-電圧特性において整流作用を呈している。このヘテロ接合は $8\text{A}/\text{cm}^2$ （20mA）において約0.3Vの順方向電圧を呈し、この順方向電圧は $40\text{A}/\text{cm}^2$ （100mA）において0.6V以上に増加する。曲線7.1は参照として、層ごとの位置が合っている（ $\theta=0^\circ$ ）ときに得られる低抵抗オーミック伝導を示している。ヘテロ接合を形成している2層の表面配向は〔100〕から〔101〕の方へ+2度傾いている。曲線7.1と曲線7.3の両方について、配向ずれ（ $|\Phi|$ ）は臨界値である6度より小さい。曲線7.1および曲線7.3によって示されたとおり、接着するウェーハの劈開面の端どうしを合わせることが、たとえ唯一の設計上の制約であったとしても、相互の回転方向の位置合わせに基づいて、まだ広範囲な性能が生じることになる。閃亜鉛型結晶に関する一次自然劈開面は〔011〕平面である。接着界面を貫通する低抵抗オーミック伝導を生み出すためには、接着されるウェーハ表面の平面内で結晶学的方向どうしを揃えることが成否を分ける。ウェーハのへりの劈開面どうしを揃えただけでは十分ではない。なぜなら名目上〔100〕に配向された閃亜鉛型結晶にとつて

$$\sim 20^\circ \text{度} + n \cdot 120^\circ < \theta < 20^\circ + n \cdot 120^\circ \dots \dots (1)$$

【0023】この（1）式において、 $|n|=0, 1, 2, \dots$ である。

【0024】上記角度 $\theta$ のいずれをとっても、最小の付随電圧降下で低抵抗電流伝導が可能な接着界面を生み出すためには、同様に、名目上〔100〕に配向された表面は〔001〕方向および〔010〕方向の回りに180度の回転対称性を有している。名目上〔100〕に配向された表面は、名目上の表面配向どうしが絶対値で6度未満しか異なっておらず、しかも接着表面の平面内におけるウェーハ相互の位置ずれが結晶学的に等価な方向から20度以内であるかぎり、この〔100〕表面を

\*で、90度の回転は結晶学的に不変な操作ではないからである。このような回転は、Sなどの単位半導体を含めて、ダイヤモンド構造を有する結晶にとって不変な操作である。

【0020】閃亜鉛型結晶が対称性を有するので、結晶学的に等価な〔100〕方向のいずれについても、その回りでの180度回転を区別することは不可能である。低抵抗オーミック伝導は、名目上〔100〕に配向したウェーハ表面において、ウェーハの回転方向位置ずれが $\theta=180^\circ$ のとき可能である。このことは、ウェーハのずれを $\theta=0^\circ$ および $\theta=180^\circ$ として $n-1$ 、 $n$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{P}$ 層を $n\text{-GaP}$ 基板にウェーハ接着することで確認した。両方の半導体表面を〔100〕から〔101〕の方へ+2度傾けて配向した結果、ウェーハの配向ずれは $|\Phi|=0^\circ$ または $|\Phi|=4^\circ$ となった。その結果得られた $n\text{-n}$ ヘテロ接合は両方とも、図4の曲線4.1に示したのと類似した低抵抗オーミック伝導を呈した。 $-20^\circ < \theta < 20^\circ$ 、あるいは $160^\circ < \theta < 200^\circ$ というウェーハずれは、接着界面を貫通する電流伝導に関して、最小の電圧降下を伴った受け入れ可能な電気的特性をもたらすであろう。

【0021】結晶学的に等価な〔100〕方向のいずれについても、その回りでもウェーハを180度回転させたことから生じる位置ずれも、その2つのウェーハの表面配向が結晶学的に等価な方向から6度以内（ $|\Phi|$ ）にあり、しかもウェーハ表面の平面内におけるウェーハ位置合わせが同時に、結晶学的に等価な方向から20度以内（ $|\theta|$ ）にあるという条件のもとで、接着界面を貫通する電流の伝導に関して、受け入れ可能な電気的特性をもたらすであろう。以上の必要條件は、ウェーハ表面の配向に依存した多くの特殊事例を導くことができる。名目上〔111〕に配向されたウェーハは、〔111〕方向を中心とする表面内の120度回転が結晶学的に等価となるような対称性を有している。そこで、相互の回転方向のウェーハずれに対して受け入れ可能な角度は次の（1）式のようになる。

【0022】

【数1】

これらの方向の回りに180度回転することで得られる他のどのような表面にもウェーハ接着することができる。

【0025】これまでの議論では化合物半導体ウェーハの接着を、主として類似した結晶構造を持ったウェーハ間で行うこと、例えば閃亜鉛型を閃亜鉛型に、閃亜鉛型をダイヤモンド型に、閃亜鉛型を等軸型に、そしてウルツ鉱型をウルツ鉱型に接着することを扱ってきた。接着される層の表面構造どうしが、ある幾何学的因子の範囲内で同じ原子配列を有するならば、異なった結晶構造の接着、たとえばウルツ鉱型を閃亜鉛型に

接着して、接着界面を貫通する低抵抗オーミック伝導を達成することもまた可能なはずである。上記の結晶学的必要条件は、この場合、接着される2表面の疑似表面配向について述べていることになる。疑似表面配向どうしの相互のずれの大きさも同様に6度未満に制約される。その場合に、ウェーハ表面の平面内における結晶学的方向は、接着界面を挟んで両側に存在する原子が、バルク結晶半導体内に見られる整列状態と同じくらいきちんと整列しているとき、方向が揃っていると定義される。同時に回転方向位置は、どの等価な方向からも絶対値が20度未満であるように制約され、そこでは接着界面の両側の原子は、バルク結晶半導体内に見られる整列状態にできるだけ近い状態で整列している。

【0026】ここで説明した技法は、少なくとも一つの化合物半導体を別の半導体に接着することに関して普遍的であり、また接着される表面の格子定数やドーピング形式から比較的独立している。このことは、配向が(100)から(110)の方に+0.8度傾いたp形( $p > 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ 層を、配向が(100)から(110)の方に+0.8度、あるいは(100)から(110)の方に+6度傾いたp形( $p > 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ 層に接着することで実証されている。両方の場合において、ウェーハは回転方向に180度( $\theta$ )ずらして位置合わせした。第1の場合は $\Phi = 1.6$ 度、第2の場合は $\Phi = 6.8$ 度とした。接着表面どうしは等しい格子定数を持っていたけれども、そしてこのことが先に述べた実施例と異なっているところであるが、表面どうしが名目上揃っている( $\Phi = 1.6$ 度)ウェーハは、図2の曲線21に似た低抵抗オーミック伝導を呈する。表面がずれている場合( $\Phi = 6.8$ 度)には、図2の曲線23で示したのと同様の整流作用を呈する。

【0027】本発明の教示に従って作成した接着界面の抵抗は、中レベルから高レベルのドーピング( $> 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )を用いることで、さらに低下させることができる。本発明の教示を守らず、単に接着表面のドーピング濃度を増加させただけでは、界面の整流作用を排除できず、これらですでに実行済みである。

【0028】ここで教示された配向はまた、接着界面に隣接している半導体結晶の結晶品質を維持するのに役立つ。ウェーハ表面の配向ずれをなくして( $\Phi = 0$ 度)製造したウェーハ接着型  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  (A1, Ga, P)材料LEDは、良い結晶品質を示し、活性領域中に貫通転位は発生せず、それに反してウェーハ表面の配向を $\Phi = 6$ 度ずらして製造した同様のLEDは、結晶品質が悪化を示し、活性領域内に貫通転位が発生し、それらの貫通転位はウェーハ接着の界面が起点となっている。

【0029】本発明を実施することによって形成されるオーミック伝導が可能な低抵抗化合物半導体の接着界面は、多くのデバイス用途において有用である。本発明のウェー

ハ接着方法は、高効率の透明基板  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  (A1, Ga, P)材料LEDを製造するための好ましい方法であることを示した。こうしたLEDは普通、最初にデバイス層を成長させた吸光n形GaAs基板を選択的に除去することで製造される。次に本発明の教示を利用して、光学的に透明なn形GaP基板を、先のGaAsの代わりにウェーハ接着する。このデバイス設計では、低い順方向電圧を保持しながら、ウェーハ接着面に貫いて電流を通過させることが必要である。図8は、寸法が $10.5 \times 10.5$ ミルの半導体ウェーハ接着型透明基板  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  (A1, Ga, P)材料LEDの電流-電圧特性を示す。すべての  $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$  エピタキシャル層とすべてのGaP基板は(100)から(101)の方に+2度傾いた表面配向を持っている。図8に性能を示した2組のLEDは同じ接着条件および同じ処理条件のもとで製造されているが、ウェーハ位置合わせだけは異なっている。図8において曲線81の電流-電圧特性は接着型LEDからのものであり、このLEDにおいて、すべての結晶学的方向は揃っている。これらに電流-電圧曲線は20mAにおいて約2.1Vという低い順電圧を示している。製造中にウェーハ位置合わせ( $\theta$ )が90度未満だったまにされると、高い順方向電圧(20mAにおいて3V以上)が生じる。これは曲線83によって示されている。これは高い順方向電圧は、事実上すべての実用的デバイス実施形態において受け入れがたい。ウェーハの実施配向ずれの絶対値( $|\theta|$ )が6度を越えたときも、類似の結果が得られたが、それについては図解しない。

【0030】2つの半導体内の原子がウェーハ接着界面を挟んでほぼ整列しているという本発明の必要条件は、アモルファス層または多結晶層に接着することが、整流作用を示す電流-電圧特性に帰着することを暗示している。図9(接着前)および図10(接着後)に示すとおり、多結晶層またはアモルファス層91はレーザ溶融とレーザアニーリングによって、またはウェーハ接着層93および95へのイオン注入によって選択的にパターン化することができた。パターン化された多結晶層またはアモルファス層91を別の結晶層またはパターン化されたウェーハ接着層93に接着することは、もしそれらの結晶層が、ここで記載、かつ特許請求するような状態で界面を挟んで位置合わせされているならば、低抵抗のオーミック伝導を生じることになる。堆積した多結晶層またはアモルファス層91の領域は、非オーミックコンタクト領域を生成する。図9及び図10に図解した方法は、接着構造内の電流回路を確定するのに有用であろう。

【0031】上記明細書では、本発明の特定の例示の実施例を参照しながら説明してきた。しかしながら、特許請求の範囲に記載する本発明の広義の趣旨および範囲から逸脱することなく、それに対してさまざまな修正や変

更を加えることができることは明白であろう。化合物半導体ウェーハは、本発明の範囲から逸脱することなく、異なった組成や結晶構造を持ってもよい。同様に、異なった材料内で最適なオーミック伝導を得るには、結晶平面の位置合わせや配向の角度を変更することが必要かもしれない。こうした多くの変更や修正は容易に想像される。従って、この明細書および図面は限定的ではなく例示的なものとも見なすべきである。

【0032】以上本発明の各実施例について詳述したが、ここで、各実施例の理解を容易にするために、各実施例ごとに要約して以下に列挙する。

【0033】1. 少なくとも2つの半導体表面を接着して、接着界面最小電圧降下を伴う低い電気抵抗を呈し、接着される表面のうち少なくとも一方が化合物半導体を含み、2つの表面が類似したドーピング・タイプを有する、接着界面を形成する方法であって、2つの半導体表面を加熱するステップと、2つの半導体表面の表面配向を一致させるステップと、2つの半導体表面の回転方向位置を一致させるステップと、加熱し、配向し、位置合わせした表面に単軸圧力を加えるステップとを含む化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0034】2. 加熱するステップと、表面配向を一致させるステップと、回転方向位置を一致させるステップと、単軸圧力を加えるステップが、どのような順序で行われてもよい上記1に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0035】3. 表面配向の差の絶対値が6度未満であり、かつ表面の回転方向位置の差の絶対値が20度未満である上記1に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0036】4. 配向を一致させるステップと、回転方向位置を一致させるステップとを緩やかに、半導体表面の結晶構造内で結晶学的に等価な方向をも含めるようにした上記3に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0037】5.  $x$ が0から1までの値、また $w$ が0から1までの値であるとして、半導体表面の少なくとも一方が、 $1-n_x$ 、 $(Al, Ga)_{1-x}$ 、 $P$ を含む上記3に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0038】6.  $y$ が0から1までの値、また $z$ が0から1までの値であるとして、第2の接着表面が、 $1-n_y$ 、 $(Al, Ga)_{1-y}$ 、 $P$ を含む上記5に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0039】7. 両方の表面が $p$ 形である上記2に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0040】8. 両方の表面が $n$ 形である上記2に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0041】9. ユニポーラ接着界面を少なくとも有し、第1半導体層から第2半導体層へのユニポーラ接着界面貫通電流が最小電圧降下を示し、層どうしの表面配

向ずれが絶対値で6度未満であり、ユニポーラ接着界面の平面内における、結晶学的方向の回転方向位置ずれの絶対値が20度未満である化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体デバイスである。

【0042】10. ユニポーラ接着界面に隣接する層どうしの位置合わせを緩和して、ウェーハの表面配向ずれの角度と、ウェーハの回転方向位置ずれの角度とを保ちながら、結晶学的に等価な方向をも含めるようにした上記9に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体デバイスである。

【0043】11.  $x$ の範囲が0から1まで、また $w$ の範囲が0から1までであるとして、層の少なくとも一方が、 $1-n_x$ 、 $(Al, Ga)_{1-x}$ 、 $P$ を含む上記9に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体デバイスである。

【0044】12. 両方の層が $1-n_x$ 、 $(Al, Ga)_{1-x}$ 、 $P$ 材料を含む上記11に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体デバイスである。

【0045】13. 少なくとも2つの半導体表面のうちの少なくとも一方が、パターン化領域を有し、そのパターン化領域がアモルファス半導体と多結晶半導体を含む材料グループのいずれかの材料でできており、パターン化領域の表面と第2の半導体表面との接着によってオーミック伝導領域と非オーミック伝導領域を形成する上記6に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0046】14. 接着したユニポーラ界面が、最小の電圧降下で電流を通過させない領域を有し、そうした領域が半導体層の少なくとも一つをアモルファス半導体と多結晶半導体を含む材料グループのうちのある材料でパターン化することで形成される上記9に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体デバイスである。

【0047】15. 2つの半導体表面を200〜1,000℃の範囲内の温度まで加熱する上記1に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0048】16. 2つの半導体表面が類似した結晶構造を有する上記1に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0049】17. 2つの半導体表面を700〜1,000℃の範囲内の温度まで加熱する上記15に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0050】18. 少なくとも2つの半導体表面が異なる結晶構造を有するが、その結晶構造が、ある幾何的換算係数で同じ原子配列を有する上記10に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0051】19. 第1半導体層と第2半導体層が異なる結晶構造を有するが、その結晶構造が、ある幾何的換算係数で同じ原子配列を有する上記10に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法を適用して製造した半導体

デバイスである。

【0052】20. p形表面のドーピングレベルを少なくとも $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ まで増加させて、界面を貫通する抵抗を最小にした上記7に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0053】21. n形表面のドーピングレベルを少なくとも $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ まで増加させて、界面を貫通する抵抗を最小にした上記8に記載の化合物半導体ウェーハの接着方法である。

【0054】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、類似したドーピング・タイプを有する少なくとも一方が化合物半導体を含む少なくとも2つの半導体表面を加熱し、2つの半導体表面の表面配向の一致と回転方向位置を一致させた半導体表面に単軸圧力を加えるようにしたので、接合界面上の転移と点欠陥を最小にでき、2つの半導体表面の接合界面での電圧降下を最小にして低い電気抵抗を有するオーミック伝導を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

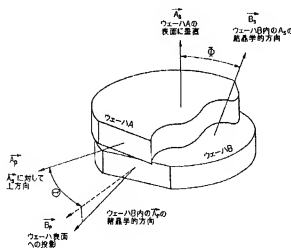
【図1】相対的結晶学的表面配向と、回転方向位置合わせという用語がこの開示においてどのように用いられているかを示すウェーハの斜視図である。

【図2】表面配向がずれているもの（従来技術）と、本発明の教示を利用して描えられたものとの、2つの接合したInGaP/GaP化合物半導体ウェーハの電圧-電流特性のグラフである。

【図3】名目上(100)に配向したウェーハ表面に対する相対的表面配向の特殊例を示すウェーハの斜視図である。

【図4】InGaP/GaP化合物半導体ウェーハを、\*30

【図1】



\* 回転方向のずれ角度をさまざまに変えて接合したとき、そのウェーハ間に形成される、同一構造型ヘテロ接合に対する電圧-電流特性のグラフである。

【図5】名目上(100)に配向したウェーハ表面に対するウェーハの回転方向位置合わせの特殊例を示すウェーハの平面図である。

【図6】名目上(100)に配向したウェーハ表面に対するウェーハの90度回転方向ずれの特殊例を示すウェーハの平面図である。

10 【図7】回転方向のずれをゼロおよび90度として接合した2組のInGaP/GaP接着化合物半導体の電圧-電流特性のグラフである。

【図8】接合した化合物半導体ウェーハを用いて形成した2組のLEDにおいて、異なる位置合わせ（従来技術および本発明）の効果をさらに詳しく示すブロック図である。

【図9】本発明が、接合前のウェーハ内で多結晶領域またはアモルファス領域を選択的に生成させることと相まって、同一界面において伝導領域と非伝導領域をどのようにして生成することができるかを示す説明図である。

【図10】本発明が、接合後のウェーハ内で多結晶領域またはアモルファス領域を選択的に生成させることと相まって、同一界面において伝導領域と非伝導領域をどのようにして生成することができるかを示す説明図である。

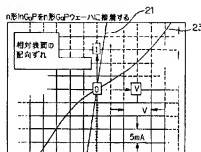
【符号の説明】

21, 23, 41, 43, 45, 47, 71, 73, 81, 83 曲線

91 多結晶層またはアモルファス層

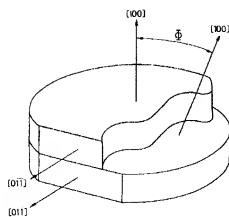
93, 95 ウェーハ接着層

【図2】

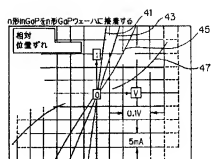




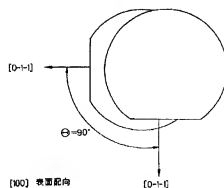
【図 3】



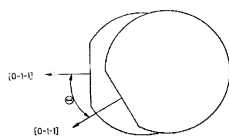
【図 4】



【図 6】

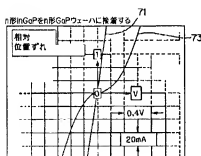


【図 5】

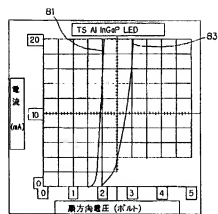


[100] 表面配向

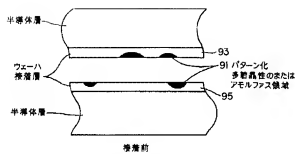
【図 7】



【図 8】



【図9】



【図10】

